1405

COMPONENTES OPTICOS PASIVOS

Con referencia a los conectores, atenuadores, acopladores, empalmes y otros componentes utilizados en las redes ópticas.

1- COMPONENTES OPTICOS PASIVOS

1.1- CLASIFICACION DE COMPONENTES

En la **Tabla 01** se determina una clasificación de los componentes ópticos pasivos. Los componentes activos se estudian en los Trabajos posteriores (emisores Láser, detectores, amplificadores EDFA, etc.).

Tabla 01. Componentes ópticos pasivos y activos más comunes.

-Empalmes de fusión.	Permiten la unión permanente de dos fibras ópticas FO. Se realiza con una empalmadora y se protege el empalme con una tubo termocontraible.
-Conectores.	Los conectores permiten la unión de FO y el desmontaje de la unión. Se utilizan conectores de distinto tipo: FC (norma de Japón), SC (norma americana de la Bell), ST (tipo bayoneta BNC), D4, DIN (norma alemana DIN 47256), FDDI (para redes IEEE 802.8), E-2000 (norma de Suiza). El pulido de los conectores es del tipo **PC** (*Phisic Contac*) y **APC** (*Angular PC*) con un corte a 8 grados. En los dibujos de la lámina anexa se muestran algunos tipos de conectores en perspectiva.
-Atenuador.	Actúa mediante un movimiento mecánico o con materiales de absorción. Son fijos (de 5, 10, 15 o 20 dB) o variables. En este caso el valor de atenuación puede ser ajustado a mano.
-Acopladores.	Dispone de 3 o más puertas. Su función es dividir la señal óptica de entrada en varias salidas. Esta división puede ser simétrica (igual potencia por cada puerta) o asimétrica (distinto valor). Se aplica para obtener valores de monitoreo de potencia y para redes de distribución de señales (por ejemplo en CATV).
-Circulador óptico	El acoplador direccional es conocido circulador óptico y dispone de 3 o 4 puertas. La perdida de inserción entre puertas P1-P2/P2-P3/P3-P1 es cercana a 1 dB. La pérdida de aislación entre las puertas P1-P3/P3-P2/P2-P1 es de 25 dB. La pérdida de retorno de cada puerta es de 50 dB. La construcción se realiza mediante rotadores de Faraday. Permite la transmisión bidireccional por la misma FO. Este tipo de acción permite el uso de una sola FO pero el precio a pagar es una elevada atenuación en los extremos y por ello solo aplicable en cortas longitudes.
-Aislador.	Tiene una pérdida de inserción de 1 dB y de 25 dB de retorno. Se utiliza en amplificadores ópticos y láser en aplicaciones analógicas. La señal reflejada puede incrementar el nivel de ruido del láser. Consiste en un rotador de polarización de Faraday de 45 grados. La señal de retorno rota 90 grados y se encuentra en contrafase (polarización de la onda).
-Monitor óptico	Se trata de un acoplador más un aislador.
-Switch.	Permite la permutación entre FO en forma opto-mecánica, termo-óptica (los polímeros cambian el índice de refracción en función de la temperatura) o mediante un circuito electro-óptico de NiLiO3 donde el índice de refracción se modifica en función de voltaje eléctrico. Se han observado aplicaciones en conmutación de circuitos y en moduladores para alta velocidad.
-Filtro óptico.	Es necesario para operaciones de separación de longitud de onda en WDM. Se construye mediante filtro dieléctrico, AWG y ranuras de Bragg
-WDM	(*Dense Wavelength Division Multiplexing*). Esta técnica de multiplexación permite transmitir varias longitudes de onda por la misma FO.
-Lente *Grin Rod*	Es un lente cilíndrico para empalmes y enfoque de emisores y detectores de luz.
-Modulador óptico	Se trata de componentes basados en tecnología de Niobato de Litio que permiten fabricar moduladores ópticos, acopladores direccionales o switch de diverso tipo.
-Amplificador óptico	Se fundamenta en FO dopadas con Erbio.

1.2- DESCRIPCION DE COMPONENTES OPTICOS

1-TUBO TERMOCONTRAIBLE. El método tradicional de empalme para fibras ópticas recurre a la unión mediante tensión superficial catalizada mediante el calentamiento por arco eléctrico. Para esta operación se utilizan tubos de plástico termocontraibles. Se trata de una camisa protectora que contiene 3 elementos. Un miembro de tracción de acero inoxidable de 50 mm de largo otorga la resistencia transversal necesaria para evitar stress al empalme. Un tubo interior repone las características de protección originales contra la humedad a la superficie de la fibra óptica. Un tubo exterior

transparente de 60 mm de largo contiene al conjunto y actúa de material termocontraible. Una vez calentado el conjunto se adhiere firmemente a la fibra óptica de forma tal que impide cualquier corte o falla posterior.

2-CONECTORES OPTICOS. Los conectores tienen las siguientes características:
-Están compuestos de tres elementos: Un cuerpo exterior de plástico o de metal. Un mecanismo de soporte del conector al acoplador (unión doble) del tipo roscado o de inserción *push-pull*. Un *ferrule* o casquillo que posee un anillo de posicionamiento para la sintonía del conector. El material utilizado en la ferrule es la zirconia con un diámetro exterior de 2,499 mm (tolerancia 0,5%). Se admite un desvío de la forma cilíndrica, de la rugosidad de la superficie y ovalidad inferior al 0,5%. El conector tipo FC es metálico y con inserción a rosca; el conector tipo SC es de plástico y con inserción push-pull.

-Pulido de la Ferrule. El tipo PC (pulido convexo) puede entregar características PC, SuperPC y UltraPC; se diferencian en la pérdida de retorno. El conector de Pulido Convexo PC tiene la pérdida de retorno comprendida entre 27 y 40 dB; en el caso SuperPC se encuentra entre 40 y 50 dB; para UltraPC se obtiene más de 50 dB. El pulido APC PC angulado. Se trata de un ferrule cuyo extremo posee un corte de 8º respecto a la horizontal. Este proceso se logra mediante el pulido sucesivo con la inclinación indicada. El beneficio obtenido mediante este proceso es reducir la reflexión de Fresnel que ocurre cuando la luz cruza desde un medio (el núcleo de la fibra óptica) a otro (el espacio entre conectores en el adaptador). Se comprueba que una interfaz no perpendicular reduce la reflexión de Fresnel y la pérdida de retorno.

-El conector tiene una vida útil superior a las 1000 conexiones-desconexiones; la resistencia a la tracción es superior a 10 Kg. Los ciclos de temperatura muestran que el margen de operación es desde -25 a +70 ºC y el de almacenamiento desde -40 a +80 ºC.

-*Jumper o Patch-cord.* En la mayoría de las aplicaciones con fibras ópticas se desea un cable conectorizado en sus extremos para unir el cable de transporte con el terminal óptico. El *Jumper/Patchcord* es un tramo de cable simplex monofibra o duplex con ambos extremos conectorizados, mientras que un *Pigtail* tiene un solo extremo conectorizado y el otro extremo se empalma mediante fusión al cable óptico. En el caso de los jumper es posible la conexión de distintos tipos de conectores en cada extremo.

TIPOS DE CONECTORES. Se disponen de los siguientes tipos de conectores:

-**FC** (*Fiber Conector*). Se produce en las técnicas **APC** y **PC** (*Phisic Contact*). El tipo APC posee una ferrule con acabado en ángulo. El ángulo especificado es de 8 grados con lo cual se logra un óptimo en la pérdida de retorno (en general muy superior a 65 dB). El tipo PC puede entregar características PC, SuperPC y UltraPC; se diferencian en la pérdida de retorno. El conector de Pulido Convexo PC tiene la pérdida de retorno comprendida entre 27 y 40 dB; en el caso SuperPC se encuentra entre 40 y 50 dB; para UltraPC se obtiene más de 50 dB. Este modelo de conector es compatible con el diseño NTT. Posee un anillo de posicionamiento para la sintonía del conector.

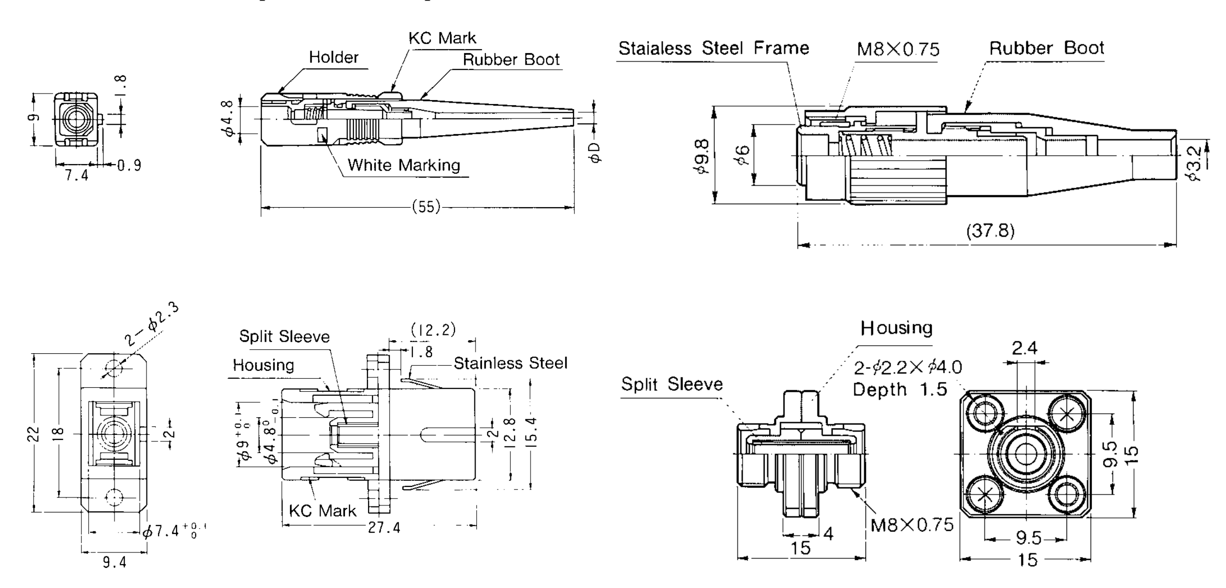


Fig 01. Conectores SC (izquierda) y FC (derecha).

-**SC.** Sigue la norma americana de la Bell, sin partes metálicas. Las dimensiones están de acuerdo con la norma EN 186000 A. El casquillo (*Ferrule*) utilizado en los conectores FC y SC es el mismo. El material utilizado es la zirconia con un diámetro exterior de 2,499 mm (tolerancia 0,5%). Se admite un desvío de la forma cilíndrica, de la rugosidad de la superficie

y ovalidad inferior al 0,5%. La **Fig 01** muestra un plano de los conectores FC y SC; en la **Tabla 02** se indican las características que cumplen los conectores.

Tabla 02. Características de los conectores ópticos.

Longitud de onda de operación	Segunda ventana 1280-1340 nm y tercera ventana 1520-1580 nm.
Perdida de inserción	Valor medio **inferior a 0,2 dB**, valor máximo 0,5 dB.
Perdida de retorno	Extremo SPC mayor a 40 dB y extremo **APC mayor a 60 dB**.
Ciclo térmico	Variación inferior a 0,2 dB en la perdida de inserción.
Repetibilidad	Mayor a 1000 conexiones y desconexiones con variación máxima de 0,2 dB.
Resistencia del mecanismo de acople	Resiste una fuerza de 80 N para cable de 3 mm y 5 N para 0,9 mm.
Tracción del cable	Resiste una fuerza de 100 N para cable de 3 mm y 5 N para 0,9 mm.
Torsión del cable	Resiste una fuerza de 15 N para cable de 3 mm y 2 N para 0,9 mm.
Vibración sinusoidal	Frecuencia de 10-55 Hz y amplitud 0,75 mm. Variación 0,2 dB.
Caída del conector	Altura de caída desde 1 mts durante 10 veces.
Carga lateral estática	Fuerza de tensión de 1 N para cable de 3 mm y 0,2 N sobre 0,9 mm.
Frío y calor seco	Temperatura de –25 °C y +75°C durante 96 hs. Variación máxima 0,2 dB.
Niebla salina	Solución 5% de NaCl; pH 6,5-7,2°C. Variación máxima 0,2 dB.
Polvo	Tamaño de partículas inferior a 0,15 mm. Variación máxima 0,2 dB.

-**E-2000** (conocido también como LSH). Son del tipo contacto físico entre extremos del ferrule. Su principal particularidad es el mecanismo push-pull para el conectorizado. Posee una tapa protectora en el extremo que cubre al extremo del ferrulle en condición de no contacto. Cuando se inserta el conector en el adaptador (unión doble) se acciona un obturador interno que retrae a la tapa protectora. El conector dispone también de un gatillo para la extracción. En tanto el adaptador para acoplar dos extremos de conectorizado posee un alineador interno para los ferrule. El conector posee un código de colores para su identificación. El color verde identifica al conector monomodo con pulido APC en ángulo (versión HRL), en tanto que el color azul identifica al conector estándar. El tipo de pulido APC permite un óptimo funcionamiento en sistemas analógicos minimizando la pérdida de retorno y el ruido de batido del diodo láser. Tal es el caso de los sistemas de transmisión de vídeo y CATV. Los pigtail y jumper se construyen sobre cordones de tipo tight (recubrimiento adherente) de 3 mm de diámetro exterior o sobre fibras ópticas con revestimiento secundario de 0,9 mm.

-**ST.** Son utilizan especialmente para las redes de datos privadas. Con mucha menor frecuencia son usados en redes de telecomunicaciones. Se fabrican para fibras ópticas del tipo multimodo y monomodo, adaptándose mejor al primero de estos tipos. Los jumpers generalmente se entregan en forma simplex y dúplex, con uno y dos cables monofibra respectivamente. Este tipo de conector puede ser armado en campo obteniéndose prestaciones reducidas respecto de las realizadas en fábrica. Los conectores ST son fabricados en jumper con la longitud de cable deseada por el cliente.

-**FDDI**. Se utiliza en la Interfaz Digital Distribuida mediante Fibras ópticas FDDI que permite la interconexión de computadores y LAN en un área superior a las LAN metálicas. Trabaja sobre fibras ópticas multimodo del tipo 50/125 o 62,5/125 um. Este tipo de conector es doble (dúplex) para permitir la formación de dos anillos unidireccionales (uno como backup del otro). Se disponen de patchcord con terminación FDDI de ambos extremos o con terminación ST en un extremo. El conector ST es también usado en redes de datos de alta velocidad (100 Mb/s).

-**Escon** (similar a FDDI de IBM). Es del tipo dúplex. Dispone de una protección de los ferrule mediante un retráctil. El ferrule es de cerámica. Existe en la versión multimodo y monomodo.

-**DIN**. Sigue la norma DIN 47255 y es utilizado por algunas empresas alemanas (Siemens). No tiene gran difusión fuera de dicho mercado.

3-ATENUADORES. El atenuador permite obtener una pérdida controlada y específica de nivel óptico. La aplicación de este elemento se refiere a instrumentación en laboratorio y en campo; para redes de distribución donde los niveles de potencia son excesivos y como terminación en equipos de transmisión en las redes SDH. Su construcción permiten una elevada confiabilidad y estabilidad a diversas condiciones de operación. Se dispone de una entrada hembra y una salida macho para facilitar la conexión al instrumento o equipo de transmisión. Se ha previsto tres tipos de atenuación: 5, 10 y 15 dB sobre longitudes de onda de operación de 850, 1310 y 1550 nm. Se garantiza una vida útil superior a 1000 conexiones y desconexiones. Existen atenuadores fijos (valor constante) y variables El atenuador variable permite trabajar en segunda o tercera ventana. Su aplicación es fundamentalmente para mediciones ópticas en laboratorio o en campo. Se entrega con el manual de instrucciones y una caja metálica de transporte.

4-ACOPLADOR. Un componente pasivo que incrementa su participación dentro de las redes ópticas es el *splitter* o *coupler*. La estructura de puertas es NxM (número de entrada y número de salida). Los parámetros de clasificación típicos son los siguientes (el valor garantizado efectivamente depende del modelo solicitado):

COMPONENTES OPTICOS PASIVOS

-Clasificación (Grado)	Prem	A	B
-Aislación óptica	>40	>40	>35
-Pérdida de inserción dB	0,1	0,3	0,5
-Pérdida de retorno dB	>60	>60	>50
-Ancho espectral nm	40	40	40

El splitter o coupler se encuentra disponible en distintas longitudes de onda para segunda y tercera ventana (1310 y 1550 nm). Se obtiene una atenuación uniforme en un amplio ancho de banda, inferior a 0,2 dB en una banda de 100 nm. La estructura de puertas es NxM (número de entrada y número de salida). Una configuración útil para derivaciones y control es la 1x2. En aplicaciones de CATV se utiliza la estructura 1xN para efectuar derivaciones de señal de vídeo. Debido a los parámetros de típicos de pérdida de inserción los coupler se clasifican en Premium, Grade A y Grade B. En una configuración 1x2 se puede realizar una relación entre puertas de tipo 50/50 (igual potencia óptica en cada puerta), 40/60, 30/70, 20/80 y 10/90 (10% de potencia en una puerta y 90% en la otra). Puede realizarse una distribución de potencia a solicitud del cliente. A continuación se indican los valores para un splitter 1x2:

5-ROTADOR FARADAY. Este efecto fue descubierto por **Faraday**-1845. Señala la existencia de substancias y materiales capaces de rotar el plano de polarización de la luz polarizada en presencia de un campo magnético con una componente en la dirección de rotación. Este diseño permite realizar varios de los componentes bajo estudio, como ser: aislador, circulador, switch óptico, etc. Se realiza mediante dos tecnologías: mono-cristal YIG (Y_3 Fe_5 O_{12}) que es un material magneto-óptico o mediante un thick-film producido por crecimiento epitaxial en fase líquida **LPE** (*Liquid Phase Epitaxy*) de $(Tb\ Bi)_3$ $(Al\ Fe)_5$ O_{12}.

6-DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*). Esta técnica de multiplexación permite transmitir varias longitudes de onda por la misma FO. Es un método varias veces propuesto en la historia de los últimos 20 años, a fines de los años 90 ha tomado un nuevo impulso. Este impulso esta dado por las dificultades tecnológicas para llegar a 10 Gb/s en la estructura SDH y la posibilidad de hacerlo mediante 4x2,5 Gb/s en DWDM (ver la **Fig 02**). El ITU-T ha definido dos bandas de longitudes de onda denominadas banda-C entre 1525-1565 nm y banda-L entre 1570 y 1600 nm. Los DWDM son componentes del tipo NxM (N entradas y M salidas) que puede ser utilizado para *cross-connects* de longitud de onda y multiplexación *add-drop*.

Fig 02. Imagen de la pantalla de un medidor DWDM.

Los módulo DWM se construyen con 3 tipos de técnicas: Filtro dieléctrico, AWG y ranuras de Bragg.

-Filtro dieléctrico: Es un film depositado sobre el substrato de vidrio. Deja pasar una solo longitud de onda desde el WDM. Las reflejadas pueden ser vueltas a filtrar hasta separar todas las longitudes de onda. Las técnicas de film convensionales aplican ZnS (sulfuro de zinc) o criolita como depósitos para diseñar una cavidad Fabry-Perot.

-**AWG** (*Arrayed Waveguide Grating*) se trata de un substrato de Silicio sobre el que se dibujan las guías de ondas (una por cada FO de entrada) progresivamente de longitud mayor. Las mismas se encuentran estranguladas en 2 puntos donde se realiza la focalización entre distintas longitudes de onda. Se crea así un diagrama de interferencia en la puerta de salida.

-Filtro del tipo *Bragg Grating.* En esta técnica la realimentación se provee por la perturbación periódica geométrica a lo largo de la cavidad. El período de las ranuras es T=λ/2.n. La longitud de onda λ se toma en el vacío y n es el índice de refracción. Estas ranuras actúan como espejos para la longitud de onda calculada y son transparentes para las demás.

7-OPTOELECTRÓNICA. Con el nombre de óptica integrada se designa al proceso de integración de componentes pasivos y activos en un mismo conjunto (*chip*) con tecnología planar. Esta técnica es viable sólo en componentes monomodo y con polarización simple. La gran mayoría de los componentes se basan en el efecto **Pockles lineal**. El mismo consiste en un cambio del índice de refracción del material proporcionalmente a la amplitud del campo eléctrico asociado. El material típicamente usado en optoelectrónica es el cristal de **$LiNbO_3$** (Niobato de litio) conocido originalmente como **Perovskita**. Sobre el cual se difunde Ti con el propósito de obtener una guía de onda monomodo. Algunos componentes realizables en optoelectrónica son:

-MODULADOR ÓPTICO. El material sustrato ($LiNbO_3$ o AsGa) tiene dibujado mediante Ti una guía de onda monomodo. El voltaje aplicado modifica el tensor de permeabilidad óptica del material produciendo un cambio de fase o un efecto de acoplamiento modal en el desplazamiento de la onda dentro de la guía. Dando lugar a una modulación (AM, PM), giro de polarización o conversión de frecuencia. El modulador Mach-Zender actúa como modulador AM ya que cada rama introduce

una modulación de fase de igual magnitud pero de sentido opuesto con lo cual se obtiene una suma (interferómetro) diferencial. Por esto se llama **modulador interferométrico**.

-ACOPLADOR DIRECCIONAL. En ausencia de tensión aplicada la luz cambia de fibra óptica periódicamente. Con voltaje aplicado el índice de refracción varía y se modifica la velocidad de propagación y la periodicidad del acoplamiento entre guías. De esta forma la luz que ingresa por una guía puede pasar a la otra o salir por la misma al final del componente que trabaja como un *switch* óptico. Esta misma estructura se puede usar como modulador digital a la salida de un Láser; como aislador; como generador de pulsos de luz a partir de un emisor que trabaja en onda continua; etc.

8-AMPLIFICADORES ÓPTICOS. Se trata de los denominados **EDFA** (*Erbium Doped Fiber Amplifiers*). Consisten en un tramo de decenas de metros de fibra óptica dopada con Tierras Raras. **Payne**-1984 adoptó el ion trivalente de Erbio Er^{3+} para realizar estas fibras ópticas activas. Mediante un Láser, operando en emisión continua (980 o 1480 nm), se produce un bombeo óptico de electrones del Er (el electrón absorbe el fotón) y pasa un nivel de energía excitado incrementándola. El Láser de bombeo es de alta potencia (250 mw) pero es usado a menor valor que el máximo (40 mw) para incrementar la vida útil del componente. Desde este nivel de energía se pasa a un estado meta-estable desde donde se produce la emisión estimulada en coherencia con la radiación de entrada (1550 nm) a amplificar. Se los usa tanto como amplificador de salida ***Booster*** (alta potencia de transmisión); en puntos intermedios o como amplificador de entrada ***Preamplifier***.

Los EDFA se han fabricado normalmente sobre FO de Silicio. Sin embargo, la respuesta de ganancia en función de la longitud de onda no es suficientemente plana dentro de la banda de 1525 a 1560 nm (más de 12 dB). Este efecto es perjudicial si el EDFA se utiliza en aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda densa **DWDM** (*Dense WDM*). En este caso se requiere un reciente diseño de EDFA sobre FO de fluoruro la cual mantiene en la banda de 1525-1560 nm una variación de respuesta inferior a 3 dB.

9-SOLITÓN. J.Russell-1834 observó una onda de agua solitaria en un canal de Escocia y tardó varios años en obtener la expresión matemática que la definiera. En 1965 la Bell Labs observó que una onda solitaria de luz sobrevive a la colisión con otra y la llamaron Solitón. En aplicaciones ópticas se trata de una onda diseñada para automantenerse en un medio específico. Se trata de FO inmune a la dispersión cromática. **A.Hasegawa**-1973 sugirió que un impulso de fotones puede existir aislado en una FO como la onda de Russell. Se requiere de un *Boost* (bomba láser) para mantener la forma original. Desde hace años se menciona el solitón como argumento para incremento de ancho de banda. Se han definido también las fibras ópticas del tipo **DCF** (*Dispersion Compensating Fibres*) para compensar la dispersión cromática en la tercer ventana sobre FO de segunda ventana.

2- EMPALMES DE FUSION

2.1- ATENUACION EN EMPALMES

Las uniones entre FO producen una atenuación de valores pequeños pero que acumulados en varios kilómetros de trayecto puede ser una limitación importante en la longitud del enlace. Por ejemplo, en 1,55 μm se producen FO de 0,25 dB/km, la atenuación del empalme es inferior a 0,10 dB, lo cual indica valores comparables de atenuación de la FO y los empalmes. Deberá cuidarse tanto la FO como el empalme de ellas.

La atenuación en los empalmes tiene dos orígenes:
-Extrínsecos al sistema de unión (desplazamiento transversales, axiales y longitudinales, reflexión en los extremos)
-Intrínsecos (desadaptación de índice de refracción, de la apertura numérica, del perfil de índice, del diámetro, etc.).

En la **Fig 03** se resumen las atenuaciones típicas entre FO para distintas condiciones de ensayo.

-Separación longitudinal s (referido al radio R):	0,5<s/R<1	0,2<dB<0,4
-Separación transversal e (referido al radio R):	0,1<e/R<0,2	0,2<dB<0,8
-Separación angular respecto del eje de alineamiento:	0,5°<ϕ<2°	0,05<dB<0,5
-Separación angular del corte respecto de la perpendicular:	0,2°<ϕ<2°	0,01<dB<0,2
-Rugosidad r normalizada respecto de la longitud de onda:	0,2<r/λ<2	0,01<dB<0,3
-Diferencia de radios R1 y R2 respecto de (R1+R2)/2=R:	ΔR/R<0,1	dB<0,7
-Diferencia apertura AN1 y AN2 respecto (AN1+AN2)/2:	Δ/AN<0,05	dB<0,4
-Diferencia de circularidad c normalizada a radio R:	c/R<0,05	dB<0,1
-Pérdida por reflexión de Fresnell:		0,3<dB<0,38

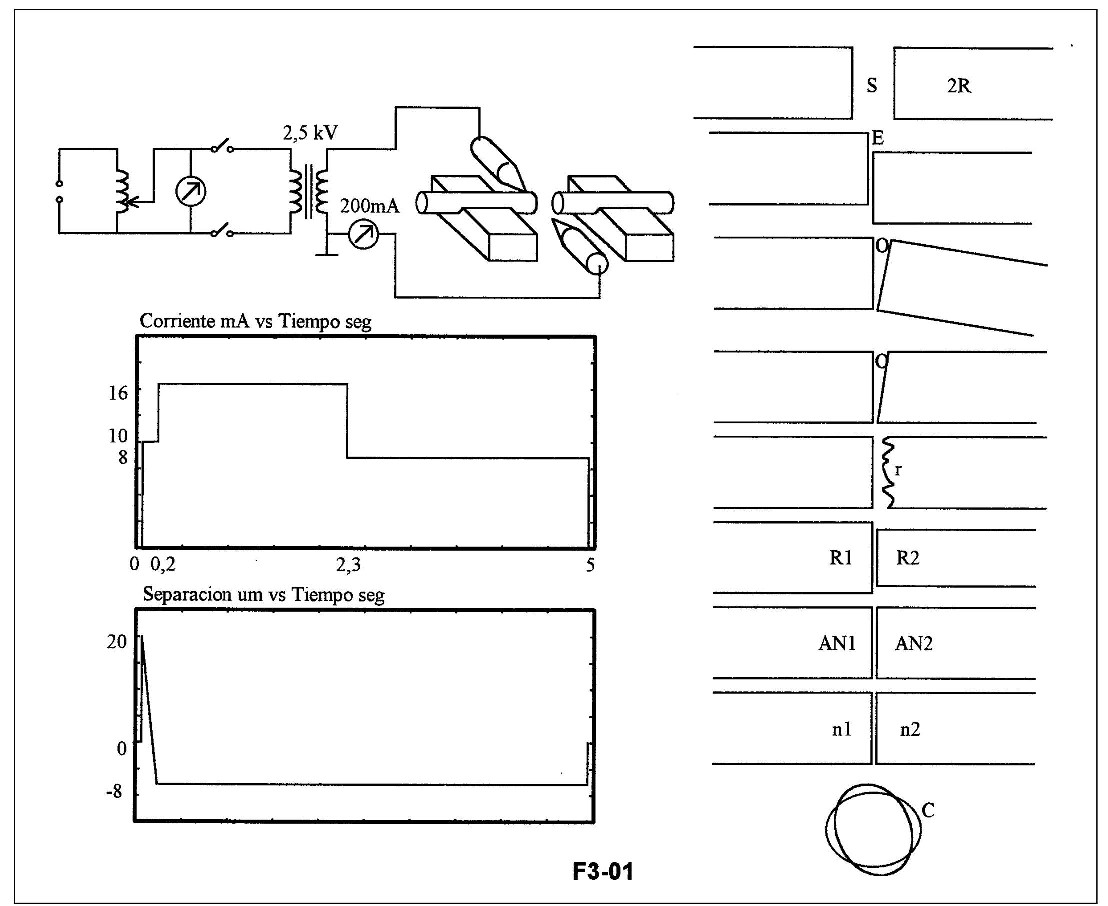


Fig 03. Atenuaciones de los empalmes de fusión o conectores.

Los empalmes pueden clasificarse según la forma de realización en: **soldadura por fusión, unión mecánica o adhesiva**. Dentro de cada tipo hay varias formas según el fabricante. Se debe considerar una amplia gama de características en la elección del método apropiado de unión, como ser:

COMPONENTES OPTICOS PASIVOS

-Empalme **pasivo** (FO con FO) o **activo** (FO con semiconductor)
-Empalme **simple o múltiple**
-Empalme **fijo o desmontable**

2.2- EMPALME POR FUSIÓN

Se considerarán las condiciones de trabajo para el empalme: acceso a fuentes de energía, complejidad y capacitación del personal, herramientas y repuestos necesarios, etc. Diferentes fuentes de calor se han usado: la resistencia eléctrica, el Láser de CO_2, la microllama de oxígeno-propano, el arco eléctrico, etc. En la mayoría de los casos se usa el arco eléctrico que permite una buena distribución de calor y es fácilmente controlable. Donde no existe energía eléctrica, existen máquinas con baterías para tal fin o puede recurrirse a la microllama que requiere de pequeños tanques de gas.

Una máquina empalme de fusión dispone de los siguientes componentes:
-Panel de control y display. Para modificar los parámetros del *Splicing*.
-Caja de embalaje. Permite acomodar los componentes usados durante la operación.
-*Cleaver.* Permite el corte de la fibra óptica en forma perpendicular y plana.
-Sistema de control de energía. Dispone de batería recargable para aplicaciones en lugares sin alimentación de red.
-Protección del empalme. Se trata de un tubo termocontraible de silicona vulcanizable.
-Electrodos. Forma el arco eléctrico para el calentamiento de las fibras ópticas.
-*V:grooves.* Estas ranuras en V permite alinear las FO una frente a la otra.
-Sistema de alineamiento automático mediante inyección de luz para optimizar el alineamiento del núcleo.

METODO DE EMPALME DE FUSION. Para el empalme por el método de fusión los pasos a seguir son:
a- **Limpieza y corte de la fibra óptica.** Para realizar el empalme se deben retirar los recubrimientos de las FO. En general el recubrimiento secundario se extrae mecánicamente mediante una pinza de corte controlado. El recubrimiento primario se quita químicamente embebiendo una gasa en acetona (CH_3-CO-CH_3) y limpiando el extremo de la FO hasta extraer todo el acrilato. Los extremos de la FO una vez limpios deben ser cortados. La operación consiste en marcar el extremo de la FO con una hoja cortante para producir una microfractura y mediante una tensión axial se produce el corte perpendicular. Existen varios tipos de herramientas que permiten efectuar ambas operaciones de corte mecánicamente.

b- **Prefusión y fusión de la interfaz**. En el caso de la unión por fusión, la operación continúa con el alineamiento de los extremos en la **máquina de empalmar**. En la **Fig 03** se observa que consiste en una doble ranura en V donde se colocan las FO. La prefusión es un breve calentamiento de los extremos sin entrar en contacto, lo que permite redondear el corte y evitar la formación de burbujas de aire en la unión. La fusión se realiza durante un tiempo más prolongado y con una presión axial para evitar el estrangulamiento del material en la interfaz. La temperatura en esta zona debe ser suficiente para lograr reducir la viscosidad y permitir la autoalineación por tensión superficial de los núcleos. El tiempo de duración de la descarga depende de la temperatura que se alcance en la juntura. Por ejemplo, para una T= 2000°C se tiene una duración del arco de t= 3,5 seg (como referencia la temperatura de la superficie del Sol es de 5550°C). Los distintos tiempos del ejemplo se muestran en la **Fig 03**. Obsérvese que luego de un tiempo t1 se produce una compresión para evitar el estrangulamiento, mientras que antes se desarrollaba la prefusión.

c- **Verificación de la calidad.** La verificación consta de dos pasos. Por un lado, la prueba de tracción sobre el empalme que se efectúa mediante una pesa de 250 gr. Por otro lado, se prueba la atenuación. Esta medida se realiza por el método reflectométrico **OTDR**. El personal necesario para esta operación tiene un mínimo de 2 operarios (uno empalmando y otro midiendo con el OTDR). El tiempo requerido para efectuar el empalme del cable puede resultar demasiado largo cuando el número de FO es elevado.

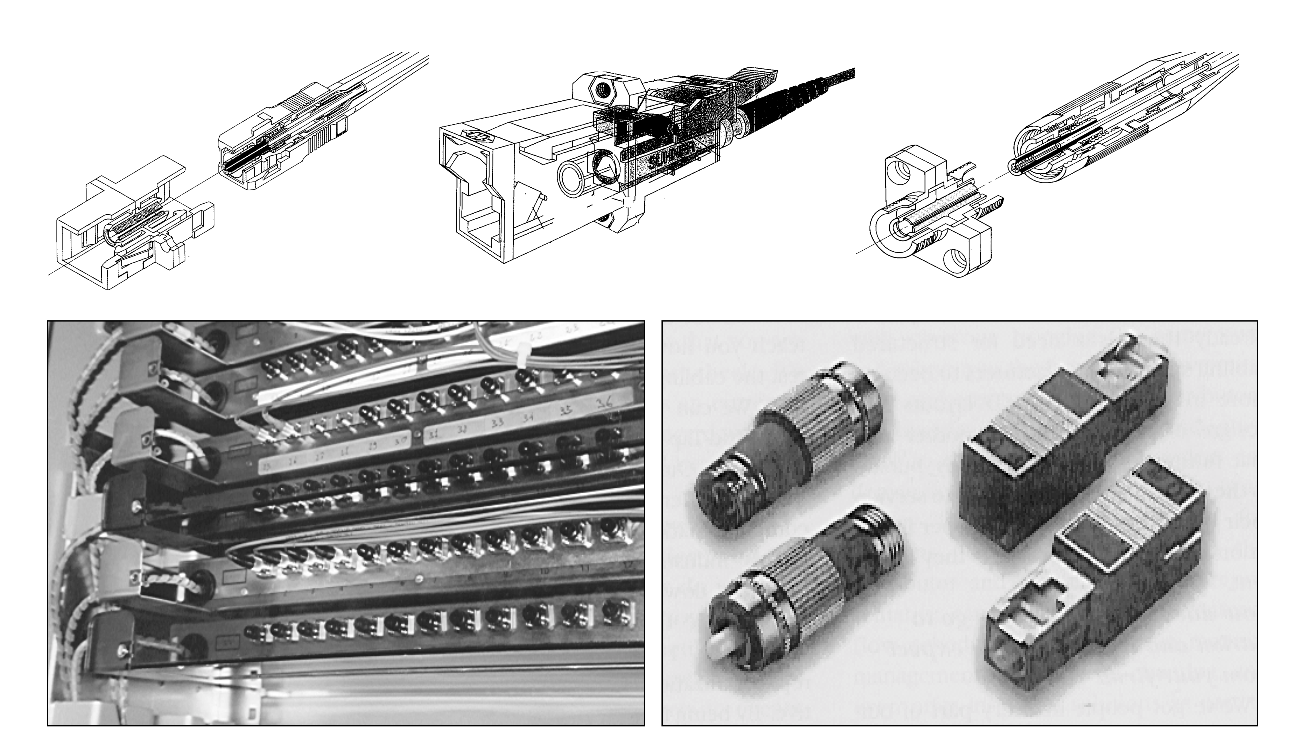
d- **Protección del empalme.** La protección del empalme se efectúa para restablecer el recubrimiento primario de la FO. Algunas empresas usan una resina epoxi que se endurece ocupando ambas funciones. En otros casos se usó un mango termocontraíble (fotografía anexa en la lámina) con un gel copolímero (etileno vinil acetato) como protección primaria. Dispone además de un alambre de acero como protección mecánica más una capa exterior cilíndrica de nylon como protección secundaria. Debe tenerse cuidado en la compactación del termocontraible pues la contracción y la expansión térmica de la manga puede transferirse directamente a la FO ocasionando un aumento de la atenuación.

CAJAS DE EMPALMES. La caja del empalme debe cumplir con variadas características, muchas de ellas comunes a los cables convencionales: debe restablecer la continuidad de la cubierta, proveer de conexión a tierra para los elementos metálicos y permitir la continuidad neumática en cables presurizados siendo hermética para el aire comprimido, proporcionar una protección a las uniones de FO con la organización y almacenamiento adecuado y permitir un fácil acceso a su interior.

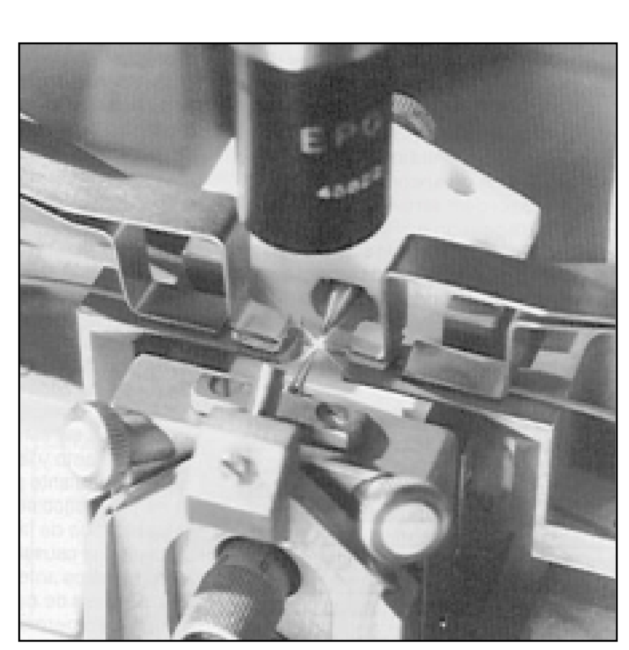
Un aspecto particular a considerar es la necesidad de acomodar un largo adicional de FO para futuras reparaciones en el interior de la caja. La distribución de la FO queda determinada por la forma de la caja. Existen **cajas de empalmes lineales** (los cables entran por ambos extremos) y **plegadas** (los extremos de los cables entran por el mismo lado de la caja). La FO se

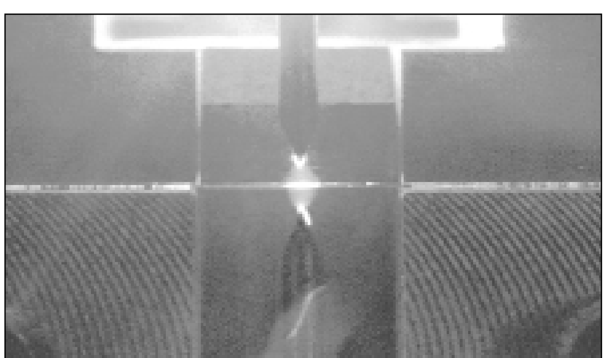
acomoda en forma circular alrededor del eje de la caja. Por otro lado, la continuidad mecánica y eléctrica del elemento de tracción se asegura uniendo ambos extremos por una abrazadera que en algunos casos puede llegar a ser solidaria con la caja.

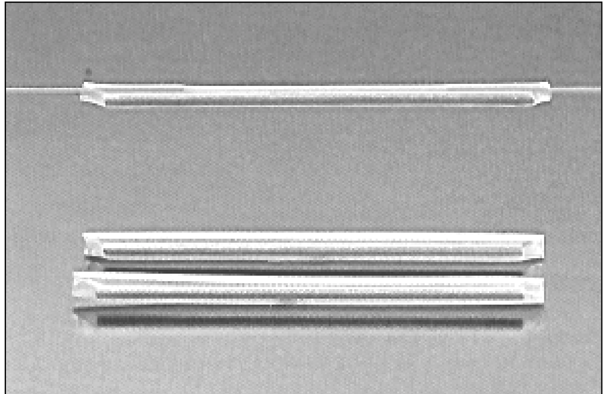
Al considerarse el diseño de la caja de empalme se tendrá en cuenta: si se requieren más de dos extremos de cables (cables de distribución), las condiciones ambientales en que será guardado y las condiciones técnicas en que será efectuado. Se deberá cuidar que los repuestos estén siempre disponibles para lo cual es conveniente el uso de componentes convencionales.



LAMINA COMPONENTES OPTICOS. En la parte superior se muestra el despiece interno del conector SC, Europa-2000 y FC. Por otro lado se tiene un distribuidor de conectores (Patch-Panel) y atenuadores ópticos. Los conectores están construidos mediante un cuerpo principal de plástico o metálico y una ferrula central. Esta ferrula, generalmente de zirconia, posee un hueco por donde se ingresa la FO para su armado. El armado de conectores con FO multimodo se realiza en campo, en tanto que con FO monomodo requiere del armado en fábrica para obtener óptimas prestaciones.
Debajo se muestra el proceso de empalme de fusión. La empalmeadora y un detalle del arco eléctrico y el manguito termocontraible que restituye el recubrimiento de la fibra ópticas para protección contra la humedad y la tracción.







3- OPERACIÓN DE SISTEMAS OPTICOS

3.1- GENERALIDADES

Existen diversos factores que afectan al plantel de cables. Los efectos son distintos según el tipo de instalación. Por ejemplo:

-Temperatura:	Produce deterioros en la unión de los cables por dilatación y contracción, produce fisuras en el PVC, elevación de los postes por congelación y levantamiento del terreno y daños por incendio.
-Viento:	Deteriora las partes mecánicas por vibración, produce presión en el cable y balanceo del mismo.
-Lluvia y humedad:	Introduce corrosión de metales y putrefacción de la madera. La nieve y hielo produce congelación y caídas de postes o cables.
-Sol y rayos ultravioleta:	Producen corrosión de metales, putrefacción de la madera y daños en la cubierta y tensores.
-Vibraciones:	El tráfico vehicular, los terremotos, la construcción de obras que llevan a movimientos de tierra, los desprendimientos de piedras afectan a la integridad del cable.
-Otros:	La contaminación con productos químicos produce corrosión y ataque al dieléctrico. La corriente continua produce corrosión galvánica. Los actos de vandalismo destruyen parte del cable instalado.

La supervisión del estado de los cables con FO se sustenta en varias alternativas. En primer lugar si el cable está presurizado cualquier deterioro del mismo producirá una pérdida de presión de gas lo cual se detecta por los medios convencionales midiendo la presión en las cajas de empalme.

En la década de los años ´80 en el Cidiba en Buenos Aires se dispuso de una alarma cuando la bomba de inyección de aire seco detecta una fuga de presión. En el proyecto COS-2 en Italia no se usó presurización y se solucionó colocando un par de conductores metálicos sin aislar (desnudos) para detectar la penetración de humedad. En el Brasil se optó por la presurización y la colocación de detectores de presión en los empalmes unidos a un centro de alarmas mediante un par de Cu. Los cables de Siecor usados en USA pueden llevar a un cable adicional de Cu para circuitos de servicios técnicos, telemedidas y supervisión de la presión del gas. Hasta 1981 el 70% de los cables con FO era presurizado y el resto aireado o relleno. Hoy día los cables rellenos son amplia mayoría.

Otro es el caso cuando el deterioro afecta a la FO solamente. En tal caso la falla puede detectarse mediante 2 métodos. El método de reflexión de Fresnel envía impulsos de luz a lo largo de la FO y detecta la luz reflejada en el extremo que retorna al emisor.

3.2- REFLECTÓMETRO ÓPTICO EN EL DOMINIO DEL TIEMPO [1]).

Cuando una onda EH incide sobre una inhomogeneidad, la energía interferente se transforma en una onda esférica. Una parte de la energía se encuentra dentro del cono de aceptación de luz (apertura numérica) en el sentido progresivo y otra en el sentido regresivo (retrodifusión) y el resto se pierde por difracción. Se denomina espaciamiento o **dispersión de Rayleigh**. El método OTDR consiste en introducir un impulso de luz en la FO y observar las condiciones de retorno de energía. En los conductores metálicos se usa el método reflectométrico que es similar al descrito pero se inyecta un impulso de corriente y se mide el eco. Sin embargo, como el conductor tiene gran distorsión de amplitud y fase se traduce en una deformación del impulso y una menor precisión.

El diagrama obtenido con el método OTDR consiste en varios puntos de interés. En el extremo de la FO la reflexión (Fresnel) es parcial pudiendo llegar a ser nula si existe un adaptador de índice de refracción. En el conductor metálico, en cambio, la corriente se refleja completamente desde el punto de vista teórico con una inversión de fase si existe un cortocircuito. Por otro lado, la retrodifusión produce información a lo largo de toda la FO lo cual permite hacer un **diagnóstico general del cable** a lo largo de toda su longitud. La imagen en el OTDR tendrá una caída exponencial, con picos en los extremos.

La fuente de luz usada es un Láser alimentado con un **generador de impulsos** de por ejemplo 40 ns (FHWH al 50% de altura) y repetidos cada 333 µs. Se coloca un acoplador direccional que permite inyectar luz del láser a la FO y dirigir la recepción del extremo de la FO al diodo detector APD. Esta señal es promediada y visualizada en el osciloscopio. Un análisis matemático del problema indica que la potencia retrodifusa Ps que se tiene en la entrada (L= 0 mts) se calcula mediante la relación $Ps= 2,2.10^{-6}.Po$. La potencia Ps está cerca de 57 dB por debajo de la potencia Po incidente. Por ello para mejorar la

[1]) El **método Reflectométrico** Optico en el Dominio del Tiempo OTDR fue sugerido por **Barnosky**-1976. Se basa en los anteriores conceptos de **Sonar** (*Sound Navigation and Ranging*, propuesto por **Langevin**-1917) y **Radar** (*Radio Detection and Ranging*, propuesto **Watson y Watt**-1935). El método reflectométrico se especifica en IEC 793-1-C1A.

relación señal o ruido se requiere un proceso de **promediación** que consiste en medir varias veces y promediar una curva para presentarse en la pantalla del osciloscopio.

La curva resultante tiene un pulso de reflexión a la entrada de la FO (punto a en la figura). Este valor se puede reducir colocando un adaptador de índice. A lo largo del cable se tiene una dispersión de Rayleigh (curva b). En el punto c se tiene un empalme en la FO por lo que existe una pequeña reflexión debido a la discontinuidad y un descenso en la potencia debido a la atenuación. Posteriormente existe otro tramo de FO indicado como d y el extremo e con la reflexión final. La diferencia entre los niveles de recepción n1 a n4 nos indica las atenuaciones respectivas del tramo de FO y del empalme, los tiempos t1 a t3 permiten encontrar la longitud hasta el empalme o el corte mediante la conversión con la velocidad de la luz en el medio.

Un inconveniente del método OTDR es la imposibilidad de producir mediciones espectrales. La energía retrodispersada no posee una distribución estacionaria de modos por lo que la medida de atenuación de FO multimodo será de menor precisión, en cambio en las monomodo será casi de igual precisión, que con el método de corte. La distribución estacionaria de modos es una condición que se exige en todo tipo de medición en FO.

Una medida de la calidad del instrumento OTDR es el rango dinámico en dB que dividido por la atenuación de la FO instalada nos indica la **longitud máxima de medición**. Digamos que este valor debe llegar a cerca de 70 km en los enlaces con FO monomodo, debido a que los repetidores interrumpen el circuito óptico. Así es que la separación entre repetidores será el máximo valor de longitud deseable de medida.

3.3- PROTECCIÓN DE SISTEMAS

Los elementos activos y pasivos pueden deteriorarse con el tiempo, reduciendo el nivel de potencia en el receptor y elevando la tasa de error BER. La Bell de USA optó por una conmutación entre líneas ópticas cuando se detecta una BER superior a 10^{-6} restableciéndose la línea original cuando es inferior a 10^{-7}. Por ejemplo, en Atlanta se colocaron 48 FO en funcionamiento y 8 de reserva para conmutación.

Cuando se realiza el proyecto del enlace se tendrán en cuenta los siguientes aspectos: el número de FO de reserva que contendrá el cable (conmutación automática y para ampliaciones); el margen general del cable para considerar reparaciones; los valores medios y desviaciones estándar de las características, etc. La elección de estos valores y del **sistema de conmutación** determinan la **disponibilidad del enlace**. En líneas generales el sistema óptico tiene un transmisor Láser y un detector de luz para el control de la potencia emitida y un receptor con un detector APD o PIN con por lo menos 5 circuitos integrados en total. La experiencia de fallas indica una cada 25 años en el Láser; 0,25 fallas cada 25 años en el APD o PIN; igual valor para los circuitos integrados y 0,5 fallas cada 25 años en los componentes pasivos.

La supervisión dará lugar a la conmutación y a las alarmas para el mantenimiento correctivo. La supervisión se ha realizado por conductores metálicos incluidos en el cable, por FO separadas, por multiplexación de longitud de onda WDM, etc. En este terreno el caso más interesante es el denominado *bit insertion/bit extraction* que se agrega bits adicionales a la trama que se transmite para ingresar los servicios para el mantenimiento. En algunos casos esta tarea se realiza introduciendo errores en el código de transmisión. En los sistemas con fibras ópticas con la jerarquía digital sincrónica **SDH** la protección entre sistemas se encuentra prevista mediante sistemas de conmutación o mediante la operación de conexión cruzada (*Cross-Connect*) y *Add-Drop* de los multiplexores. A tal efecto se puede consultar los trabajos referidos a sistemas sincrónicos.